

## «Das Downsizing geht weiter»

Die letzten 100 Jahre dominierten Benzin- und Dieselmotoren die Strassen. Jetzt stehen gleich mehrere neue Antriebskonzepte in den Startlöchern: Elektroautos, Brennstoffzellenautos oder Fahrzeuge mit Erdgasmotoren. Christian Bach, Forscher an der Empa in Dübendorf, erläutert das Potenzial der verschiedenen Technologien.

### **Herr Bach, zuerst eine provokative Frage: Autos mit Erdgasmotoren kann man längst kaufen. Sie forschen trotzdem intensiv daran. Warum?**

Bei den Erdgasfahrzeugen gibt es einen grossen Nachholbedarf. An Benzin- und Dieselmotoren ist schon viel länger geforscht worden und man erreicht immer noch Verbesserungen. Mein Kollege hat einen Kompaktwagen mit Dieselmotor, der 4 bis 4,5 Liter auf 100 km verbraucht. Das sind beeindruckende Werte. Auch die so genannten Twin Charger von VW, kleinvolumige Turbomotoren im Mittelklasse-Auto, weisen so niedrige Verbräuche auf, wie man sie vor einiger Zeit nicht für möglich gehalten hätte.

### **Ist die Technik beim Benzinmotor nun ausgereizt?**

Ich glaube nicht. Das Elektrofahrzeug hat eine neue Messlatte gesetzt. Hinzu kommen die CO<sub>2</sub>-Vorschriften der EU, die enorm Druck machen.

### **Wohin gehen die Vorschriften?**

Der Grenzwert von 130 Gramm pro Kilometer ist definitiv ab 2015. 95 Gramm ist in Planung für 2020, mittlerweile ist sogar 70 Gramm in Diskussion für 2025. Und die Mehrheiten in Brüssel sind klar: Bei der Abstimmung 2009 im EU-Parlament haben

85 % der Einführung dieser Grenzwerte zugestimmt.

### **Deshalb sehen Sie im Erdgasmotor die Zukunft?**

Die seit kurzem von der Automobilindustrie gebauten Erdgasfahrzeuge funktionieren gut, es gibt in der Schweiz über 120 Erdgastankstellen und der Erdgaspreis ist laufend gesunken im Vergleich zum Benzin. Die Situation hat sich also komplett gekehrt. Zudem ist es viel einfacher, mit einem Erdgasauto die CO<sub>2</sub>-Grenzwerte einzuhalten.

### **Warum?**

Aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Erdgases stösst ein Erdgasmotor rund ein Viertel weniger CO<sub>2</sub> aus, wenn er gleich effizient ist wie ein Benzinmotor. Hinzu kommt, dass Erdgas eine höhere Oktanzahl hat als Benzin, deshalb können Erdgasmotoren sogar etwas effizienter gemacht werden als Benzinmotoren, was sich in einer zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Reduktion auswirkt.

### **Ein Erdgasauto ist aber teurer in der Anschaffung.**

Man darf nicht nur den Preis beim Kauf, sondern muss auch die Kosten im Betrieb berücksichtigen, wo Erdgasfahrzeuge deutlich

billiger sind. Sogar ein Erdgas-Hybridauto ist nach 180 000 km nicht teurer als ein Benzinauto, stösst aber je nach Fahrprofil 30 bis 50 % weniger CO<sub>2</sub> aus. Diese Berechnungen haben wir mit Motoren heutiger Technologie gemacht, das ist also keine Utopie. Da Erdgas heute rund ein Drittel billiger ist als Benzin, schlägt es alle anderen Technologien bei den Kosten pro reduzierte Menge CO<sub>2</sub>.

### **Aber ein Elektroauto würde noch weniger CO<sub>2</sub> ausstossen?**

Ein Elektroauto und ein Erdgasfahrzeug emittieren «ab Netz betrieben» etwa gleich viel CO<sub>2</sub>. Auch der Strom muss ja hergestellt werden. Natürlich, wenn man Ökostrom tankt, ist das Elektroauto besser. Man kann aber auch Biogas tanken, dann ist das Erdgasauto ökologischer als ein Elektroauto.

### **Ein Elektroauto könnte in ein Smart Grid integriert werden und Energie zwischenspeichern.**

Es stimmt, dass wir in Zukunft mehr grosse Stromspeicher brauchen. Im Sommer werden wir zwangsläufig einen Überschuss an Energie haben, den man im Winter gerne verbrauchen würde. Für diese saisonale Speicherung eignet sich aber die Autobatterie nicht. Wir schauen deshalb an, ob man mit Überschusselektrizität lokal Wasserstoff produzieren könnte. Diesen könnte man in Erdgasmotoren verbrennen, zusammen mit Erdgas, was auch technisch interessant wäre.

### **Warum technisch interessant?**

Wasserstoff ist extrem zündwillig, was im Verbrennungsmotor zu einer stabilen, robusten Entflammung führt. Und das Methan im Erdgas ist extrem klopfest. Ein Gasgemisch von Erdgas und Wasserstoff wäre also ideal, um den Motor hoch zu verdichten und trotzdem eine gute Entflammung zu erreichen. Man könnte den Motor mit einem Turbolader hoch aufladen, ohne dass es Selbstzündungen gibt. Der Wasserstoff im Erdgas würde also nicht nur die CO<sub>2</sub>-Bilanz verbessern, sondern auch den Wirkungsgrad des Motors weiter erhöhen.

### **Könnten heutige Erdgasmotoren dies schon ausnutzen?**

Nur bedingt. Eine Wasserstoffbeimischung von weniger als 2 % wäre heutzutage möglich.



Christian Bach: «Als Forscher in diesem Gebiet kann ich nicht verstehen, wie heute noch jemand ein konventionelles Benzinauto kauft. Aber die Märkte bewegen sich langsam.»

Aber heutige Erdgasmotoren sind modifizierte Benzinmotoren. Wir arbeiten an monovalenten Erdgasmotoren, die nicht mit Benzin fahren, höchstens als Notlösung mit reduzierter Leistung. Wir wollen die Motoren auf Erdgas optimieren und die Vorteile von 130 Oktan voll ausnutzen. Dabei könnten Beimischungsraten bis 20 % Wasserstoff durchaus möglich sein.

#### **Nach der landläufigen Meinung sind Erdgasautos immer noch lahme Enten.**

Es stimmt, dass die ersten Erdgasmotoren, die als Saugmotoren ausgelegt waren, rund 10% weniger Leistung hatten gegenüber dem Benzinmotor. Bereits heute haben Erdgas-Turbomotoren aber rund 10 % mehr Leistung als Benzin-Turbomotoren. Mit Wasserstoff und anderen Ideen liegt noch mehr drin.

#### **Wie viel?**

Mit Turbomotoren kann man die Leistung theoretisch verdoppeln, die Lebensdauer sinkt dann allerdings rapide. Vollaluminiummotoren halten heute Ladedrücke aus, die früher nicht denkbar waren. Das Downsizing wird also weitergehen. Fiat arbeitet an einem 2-Zylinder-Erdgasturbomotor für Kleinwagen. In der Mittelklasse sind 3-Zylinder-Turbomotoren denkbar, die mit einem Liter Hubraum 150 PS erreichen.

#### **Neben den Erdgasautos steht auch ein Brennstoffzellenfahrzeug in ihrem Labor, ein Kommunalfahrzeug. Wird man bald Brennstoffzellenfahrzeuge kaufen können?**

Prognosen zu den Brennstoffzellen sind schwierig. Das Interesse an der Technologie ist enorm. Nur sind die Hürden auch riesig, angefangen bei der Zulassung der Tankstellen. Obwohl Benzin mindestens so gefährlich ist, haben neue Technologien bei den Sicherheitsvorschriften Mühe, weil sie strengere Massstäbe erfüllen müssen. Eine weitere Hürde sind die Kosten. Ein Elektroauto ist schon doppelt so teuer wie ein normales Auto. Beim Brennstoffzellenauto kommen noch die Brennstoffzelle und die Wasserstofftanks hinzu. In absehbarer Zeit ist diese Technologie im PW unrealistisch, auch wenn immer mehr Projekte aus dem Labor auf die Strasse kommen. Allerdings sehe ich grosses Potenzial für baldige Serienprodukte bei Spezialfahrzeugen, wie etwa Kommunalfahrzeugen oder Stadtbussen.

#### **Da wären noch die reinen Elektroautos. Sind die Batterien mittlerweile serienreif?**

Ja, die Lithiumionen-Batterie hat einen Stand erreicht, dass grosse Stückzahlen gebaut werden können. Die Batterien funktionieren gut, aber sie sind teuer. Zudem entsteht bei

der Produktion der Batterie ein relevanter Anteil der Gesamtemissionen des Fahrzeugs.

#### **Wie teuer ist eine Lithiumionen-Batterie?**

Heute kostet eine Batterie für den Endkunden ca. 750 Euro pro kWh – bei der Massenproduktion in der Automobilindustrie wohl etwas weniger. Eine 25-kWh-Batterie eines Elektrofahrzeuges kostet somit etwa 20 000 Franken. Die Batterie ist aber nur auf rund 3000 Vollladezyklen ausgelegt. Macht man eine Ökobilanz, braucht jedes zweite Fahrzeug eine zweite Batterie im Leben. Das ist hart für diejenigen, die es trifft! Einige Elektrofahrzeuge haben eine 5-Jahres-Garantie auf die Batterie. Würden Sie ein solches Auto im 6. Jahr als Occasion kaufen?

#### **Kann man den Zustand der Batterie prüfen?**

Von aussen nicht. Es kommt darauf an, wie häufig und wie schnell die Batterie geladen wurde. Waren es 2000 Langsamladezyklen, wurde die Batterie nie bei tiefen Temperaturen geladen und hat sie sich nie überhitzt beim schnellen Fahren, dann reicht sie ohne weiteres noch 5 Jahre.

#### **Wie gross ist die Chance der Elektroautos im Markt?**

Ich glaube nicht, dass die Elektrofahrzeuge in den nächsten 20 Jahren einen grossen Marktanteil erhalten. Die Kosten sind hoch, es braucht Investitionen in die Infrastruktur und das CO<sub>2</sub>-Problem ist damit noch nicht gelöst. Die angekündigten Modelle sind nun da, aber es geht nicht viel. Ich denke, es bleibt ein Segment der Klein- und allenfalls Kompaktfahrzeuge für kurze Strecken. Hier kann man vernünftige, bezahlbare Batterien einsetzen.

#### **Und bei den Mittelklassewagen?**

Mit einem Mittelklassewagen will man ab und zu in die Ferien fahren. Ein Handwerker will 300 kg Nutzlast mitnehmen. Das ist rein elektrisch nicht realistisch. Hier werden sich eher Hybridkonzepte durchsetzen.

#### **Die teuer sind!**

Ja, aber deutlich billiger als reine Elektroantriebe. Ich denke, der Hybridantrieb wird die Standardtechnologie für Mittelklassefahrzeuge, weil man sonst die CO<sub>2</sub>-Grenzwerte nicht einhalten kann. Der grosse Vorteil der Elektroautos bezüglich Effizienz ist die Bremsenergieerückgewinnung. Diesen Vorteil nutzen Hybridautos ebenfalls. Sie verlieren aber nicht die Vorteile des Verbrennungsmotors, wie die hohe Leistung und die riesigen Reichweiten.

#### **Was halten Sie vom Druckluft hybrid, den Lino Guzzella an der ETH entwickelt?**

Die Idee ist bestechend. Nicht nur wegen den Kosten, sondern auch aus technischen

Gründen: Im Verbrennungsmotor ist die Turbulenz wichtig, um den Treibstoff optimal zu verbrennen. Mit der Druckluft kann die Turbulenz im Brennraum extrem erhöht werden. Zudem hat man im Gegensatz zum Elektrohybrid keine Alterung der Batterie. Ein alter Druckluft hybrid läuft noch genau gleich, auch als Oldtimer. Und eine Gasflasche mit 5 Liter Inhalt kostet praktisch nichts, das System ist also extrem billig. Es braucht nur zusätzliche vollvariable Gaswechselventile, die aber für Verbrennungsmotoren generell interessant sind.

#### **Eignet sich der Druckluft hybrid nur für Märkte wie Indien oder China?**

Auch in Europa gibt es einen Trend zu billigen Autos. Das ist noch nicht der grosse Markt, aber aus der wirtschaftlichen Situation kaufen die Leute bereits heute billigere Autos. Wenn man mit diesem System die CO<sub>2</sub>-Ziele erreichen kann, ist es eine attraktive Variante.

#### **Es werden sich also je nach Fahrzeugart verschiedene Antriebskonzepte durchsetzen?**

Ja, ich rechne mit einer Diversifizierung bei den Antrieben und den Treibstoffen, denn jede Technologie hat Vor- und Nachteile. Kleinfahrzeuge könnten vermehrt mit Elektroantrieben ausgestattet werden. Hier hätten die Gasflaschen für vernünftige Reichweiten gar kein Platz. Mittelklasse-Autos wird man mit Hybrid-Konzepten sehen, Erdgasmotoren oder Erdgas-Elektrohybrid-Antrieben. Die Batterien für einen reinen Elektroantrieb wären bei Mittelklassewagen schlicht zu teuer und zu schwer. Bei Sportwagen könnten sich vielleicht ebenfalls Elektroantriebe etablieren – für das gute Gewissen. SUVs hingegen werden Hybrid-Antriebe haben, weil dadurch die Akzeptanz steigt. Langstreckenfahrzeuge und Lastwagen werden noch lange mit Diesel fahren, während Kommunalfahrzeuge und Stadtbusse vielleicht schon bald mit Wasserstoff unterwegs sein könnten. (gs) 

### **Zur Person**

Christian Bach leitet die Abteilung Verbrennungsmotoren an der Empa in Dübendorf. Hier werden neue Antriebskonzepte und Abgasnachbehandlungssysteme entwickelt und im Motoren- und Fahrzeuglabor getestet, oft in Zusammenarbeit mit der ETH oder Fahrzeugherstellern und Zulieferfirmen wie VW, Daimler, Bucher Schörling, Bosch oder Umicore.